

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日  
Date of Application:

2002年 9月18日

出願番号  
Application Number:

特願2002-271630

[ST.10/C]:

[JP2002-271630]

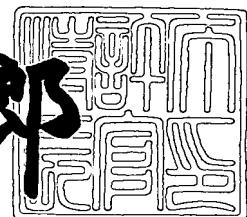
出願人  
Applicant(s):

豊田合成株式会社  
株式会社豊田中央研究所

2003年 6月24日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3049664

【書類名】 特許願

【整理番号】 02P00355

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地 豊田合成株式会社内

【氏名】 柴田 直樹

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

【氏名】 小澤 隆弘

【特許出願人】

【識別番号】 000241463

【氏名又は名称】 豊田合成株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000003609

【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所

【代理人】

【識別番号】 100095577

【弁理士】

【氏名又は名称】 小西 富雅

【選任した代理人】

【識別番号】 100100424

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 知公

【選任した代理人】

【識別番号】 100114362

【弁理士】

【氏名又は名称】 萩野 幹治

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 045908

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0115878

【包括委任状番号】 0202268

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 III族窒化物系化合物半導体発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】  $A_1_{x_1}G_a_{y_1}I_{n_1-x_1-y_1}N$  ( $0 < x_1, 0 \leq y_1, x_1 + y_1 < 1$ ) からなる井戸層と、 $A_1$ を必須構成元素とした $A_1_{x_2}G_a_{y_2}I_{n_1-x_2-y_2}N$  ( $0 < x_2, 0 \leq y_2, x_2 + y_2 < 1$ ) からなる障壁層とを有する量子井戸構造を備えるIII族窒化物系化合物半導体発光素子において、

前記井戸層の $A_1$ 組成に比べて前記障壁層の $A_1$ 組成が同じか若しくは小さいことを特徴とするIII族窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 前記障壁層は $A_1$ と $I_n$ を必須構成元素とした $A_1_{x_2}G_a_{y_2}I_{n_1-x_2-y_2}N$  ( $0 < x_2, 0 < y_2, x_2 + y_2 < 1$ ) からなる、ことを特徴とする請求項1に記載のIII族窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 前記井戸層と前記障壁層において、 $x_2 \leq x_1 \leq 1.5 \times x_2$  の関係を満足することを特徴とする請求項1又は2に記載のIII族窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 前記井戸層は前記量子井戸構造の下地となる $GaN$ 層と実質的に等しい格子定数を有することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のIII族窒化物系化合物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明はIII族窒化物系化合物半導体発光素子に関する。更に詳しくは、量子井戸構造を有し紫外領域の光を発光するIII族窒化物系化合物半導体発光素子の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】

短波長化を実現するためバンドギャップエネルギーの大きい $A_1$ を井戸層に含ませた発光素子が提案されている（例えば、特許文献1参照）。この発光素子で

は、井戸層と障壁層とが共にAlを含み、かつ障壁層のAl組成を井戸層のAl組成より大きくしている。これにより、井戸層と障壁層との間の格子定数の差を低減し、ピエゾ電界を抑制して高い発光効率を達成しようとするものである。特許文献1の実施例の井戸層はAlGaNの3元混晶である。

## 【0003】

他方、高出力の短波長の発光素子を構成するIII族窒化物系化合物半導体としてAlGaNの4元混晶を用いることが提案されている（非特許文献1参照）。

この非特許文献1の図8には、AlGaNの活性層をAlGaNの層で挟み、前者のAl組成に比べて後者のAl組成が小さいものが開示されている。しかし、図8の発光素子は量子井戸構造ではないので、本発明とは異なるタイプである。

## 【0004】

## 【特許文献1】

特開2000-294884号公報

## 【非特許文献1】

「InAlGaN 4元混晶を用いた300nm帯高輝度紫外LED」、月間ディスプレイ2001年8月号別冊、2001年8月号、図8

## 【0005】

## 【発明が解決しようとする課題】

上記特許文献1に記載の発光素子によれば、井戸層と障壁層へ共にAlを導入することにより両者の格子定数の差が低減されることとなる。しかしながら、本発明者らの検討によれば下記の解決すべき課題があった。

短波長の光を高い出力で発光するときにAlGaNの4元混晶を用いることが好ましいことは既述の非特許文献1に記載の通りである。これは、AlGaNの4元混晶としてAlとInとのバランスをとることにより、その格子定数の制御が可能となって量子井戸構造の下地層と井戸層との格子定数のマッチングをとることができるのである。通常はGaNから構成される下地層は厚膜に形成されるため、この下地層と井戸層との間の格子定数にミスマッチがあるとピ

エゾ電界の影響が生じてしまう。ところが、特許文献1ではかかる下地層と井戸層との格子定数のミスマッチについて何ら考慮されていない。

## 【0006】

また、特許文献1に記載の発明では井戸層のA1組成に比べて障壁層のA1組成を大きくするものであるから、短波長化に伴い井戸層のA1組成が大きくなつたときには障壁層のA1組成はそれ以上に大きくなる。このような障壁層ではそこに結晶欠陥が生じたり、また電気抵抗が増大するという課題が生じてしまう。

## 【0007】

## 【課題を解決するための手段】

この発明は上記課題を解決すべくなされたものであり、その構成は次の通りである。

$A1_{x1}Ga_{y1}In_{1-x1-y1}N$  ( $0 < x1, 0 \leq y1, x1 + y1 < 1$ ) からなる井戸層と、A1を必須構成元素とした $A1_{x2}Ga_{y2}In_{1-x2-y2}N$  ( $0 < x2, 0 \leq y2, x2 + y2 < 1$ ) からなる障壁層とを有する量子井戸構造を備えるIII族窒化物系化合物半導体発光素子において、

前記井戸層のA1組成に比べて前記障壁層のA1組成が同じか若しくは小さい、ことを特徴とするIII族窒化物系化合物半導体発光素子。

## 【0008】

このように構成された発光素子によれば、井戸層にA1InNの3元混晶又はA1GaInNの4元混晶が採用されることより短波長の光を高い出力で発光することができる。また、井戸層に比べて障壁層のA1組成を同じか若しくは小さくしたので、井戸層のA1組成が大きくなつても障壁層のA1組成がそれ以上に大きくなることを防止できる。よって、障壁層に格子欠陥が生じたりまた障壁層の電気抵抗が不必要に大きくなることを防止できる。

## 【0009】

## 【発明の実施の形態】

以下、この発明の各構成要素について説明をする。

(III族窒化物系化合物半導体発光素子)

III族窒化物系化合物半導体は、一般式として $A1_XGa_YIn_{1-X-Y}N$

( $0 \leq X \leq 1$ 、 $0 \leq Y \leq 1$ 、 $0 \leq X + Y \leq 1$ ) で表され、AlN、GaN及びInNのいわゆる2元系、 $Al_xGa_{1-x}N$ 、 $Al_xIn_{1-x}N$ 及び $Ga_xIn_{1-x}N$  (以上において $0 < x < 1$ ) のいわゆる3元系を包含する。III族元素の少なくとも一部をボロン (B)、タリウム (Tl) 等で置換しても良く、また、窒素 (N) の少なくとも一部もリン (P)、ヒ素 (As)、アンチモン (Sb)、ビスマス (Bi) 等で置換できる。

## 【0010】

III族窒化物系化合物半導体は任意のドーパントを含むものであっても良い。  
n型不純物として、シリコン (Si)、ゲルマニウム (Ge)、セレン (Se)、テルル (Te)、カーボン (C) 等を用いることができる。p型不純物として、マグネシウム (Mg)、亜鉛 (Zn)、ベリリウム (Be)、カルシウム (Ca)、ストロンチウム (Sr)、バリウム (Ba) 等を用いることができる。なお、p型不純物をドープした後にIII族窒化物系化合物半導体を電子線照射、プラズマ照射若しくは炉による加熱にさらすことができるが必須ではない。

III族窒化物系化合物半導体は、有機金属気相成長法 (MOCVD法) のほか、周知の分子線結晶成長法 (MBE法)、ハライド系気相成長法 (HVPE法)、スパッタ法、イオンプレーティング法などによっても形成することができる。

## 【0011】

III族窒化物系化合物半導体層を成長させる基板の材質はIII族窒化物系化合物半導体層を成長させられるものであれば特に限定されないが、例えば、サファイア、窒化ガリウム、スピネル、シリコン、炭化シリコン、酸化亜鉛、リン化ガリウム、ヒ化ガリウム、酸化マグネシウム、酸化マンガン、III族窒化物系化合物半導体単結晶などを基板の材料として挙げることができる。中でも、サファイア基板を用いることが好ましく、サファイア基板のa面あるいはc面を利用するこ

とが更に好ましい。

## 【0012】

発光素子はかかるIII族窒化物系化合物半導体層を積層して構成される。発光のために層構成としてこの発明ではIII族窒化物系化合物半導体の量子井戸構造 (多重量子井戸構造、若しくは单一量子井戸構造) を採用する。

ここにおいて井戸層はA<sub>1</sub>とInを必須構成元素としたAlGaInNからなる。即ち、Al<sub>x<sub>1</sub></sub>Ga<sub>y<sub>1</sub></sub>In<sub>1-x<sub>1</sub>-y<sub>1</sub></sub>N ( $0 < x_1$ ,  $0 \leqq y_1$ ,  $x_1 + y_1 < 1$ ) の4元混晶又はAlInNの3元混晶から井戸層は形成される。x<sub>1</sub>、y<sub>1</sub>は下地層の格子定数及び発光素子に要求される波長に応じて適宜選択される。下地層がGaNからなるときはx<sub>1</sub>をy<sub>1</sub>のほぼ2.5倍にすることが好ましい。

量子井戸構造を形成するためには井戸層の膜厚を10nm以下とすることが好ましく、更に好ましくは1~8nm、更に更に好ましくは2~4nmである。

#### 【0013】

障壁層はAlを必須構成元素としたAlGaInNからなる。即ち、Al<sub>x<sub>2</sub></sub>Ga<sub>y<sub>2</sub></sub>In<sub>1-x<sub>2</sub>-y<sub>2</sub></sub>N ( $0 < x_2$ ,  $0 \leqq y_2$ ,  $x_2 + y_2 < 1$ ) の4元混晶若しくはAlInNの3元混晶から障壁層は形成される。

ここにおいて、障壁層のAl組成x<sub>2</sub>は井戸層のAl組成x<sub>1</sub>に比べて同じか若しくは小さい。より具体的には、 $x_2 \leqq x_1 \leqq 1.5 \times x_2$ の関係を満足することが好ましい。

量子井戸構造を構成する障壁層の膜厚は100nm以下とすることが好ましく、更に好ましくは3~30nm、更に更に好ましくは5~20nmである。

#### 【0014】

上記井戸層にはInが含まれ、また障壁層にも必要に応じてInが含まれている。このInはバンドギャップエネルギーが小さいのでこの配合量と本発明の必須要件元素であるAlの配合量を調整することにより、井戸層及び障壁層の夫々のバンドギャップエネルギーを調整することができる。

#### 【0015】

次ぎに、この発明の実施例について説明する。

##### (実施例1)

図1には実施例の発光素子10の模式断面図が示される。発光素子10の各層のスペックは次の通りである。

層	：	組成
p型層15	：	p-GaN: Mg

量子井戸構造14 (2ペア) :  $Al_{0.15}Ga_{0.79}In_{0.06}N$  (井戸層)  
 $Al_{0.15}Ga_{0.85}N$  (障壁層)  
n型層13 : n-GaN:Si  
バッファ層12 : AlN  
基板11 : サファイア

## 【0016】

基板11の上にはバッファ層12を介してn型不純物としてSiをドープしたGaNからなるn型層13を形成する。ここで、基板11にはサファイアを用いたが、これに限定されることはなく、サファイア、スピネル、窒化ガリウム、シリコン、炭化シリコン、酸化亜鉛、リン化ガリウム、ヒ化ガリウム、酸化マグネシウム、酸化マンガン、ジルコニウムボライド、III族窒化物系化合物半導体単結晶等を用いることができる。さらにバッファ層はAlNを用いてMOCVD法で形成されるがこれに限定されることはなく、材料としてはGaN、InN、AlGaN、GaN及びAlGaN等を用いることができ、製法としては分子線結晶成長法(MBE法)、ハライド系気相成長法(HVPE法)、スパッタ法、イオンプレーティング法等を用いることができる。III族窒化物系化合物半導体を基板として用いた場合は、当該バッファ層を省略することができる。

さらに基板とバッファ層は半導体素子形成後に、必要に応じて、除去することもできる。

## 【0017】

ここでn型層13はGaNで形成したが、AlGaN、GaN及びAlGaNを用いることができる。

また、n型層13はn型不純物としてSiをドープしたが、このほかにn型不純物として、Ge、Se、Te、C等を用いることもできる。

量子井戸構造14には多重量子井戸構造、若しくは単一量子井戸構造を採用することができる。多重量子井戸構造を採用した場合の繰り返し数は特に限定されるものではないが、2~15とすることが好ましい。

井戸層(複数存在する場合は最もn型層13に近い井戸層)とn型層13との間にAlGaN障壁層が存在するかどうかは限定されない。同様に、井戸層(複

数存在する場合は最もp型層15に近い井戸層)とp型層15との間にAlGaN障壁層が存在するかどうかも限定されない。

量子井戸構造14はp型層15の側にMg等をドープしたバンドギャップの広いIII族窒化物系化合物半導体層を含むこともできる。これは量子井戸構造14中に注入された電子がp型層15に拡散するのを効果的に防止するためである。

量子井戸構造14の上にp型不純物としてMgをドープしたGaNからなるp型層15を形成する。このp型層はAlGaN、GaNN又はAlGaN<sub>n</sub>とすることもできる、また、p型不純物としてはZn、Be、Ca、Sr、Baを用いることもできる。p型不純物の導入後に、電子線照射、炉による加熱、プラズマ照射等の周知の方法により低抵抗化することも可能であるが必須ではない。

上記構成の発光ダイオードにおいて、各III族窒化物系化合物半導体層は一般的な条件でMOCVDを実行して形成するか、分子線結晶成長法(MBE法)、ハライド系気相成長法(HVPE法)、スパッタ法、イオンプレーティング法等の方法で形成することもできる。

#### 【0018】

n電極19はAlとVの2層で構成され、p型層15を形成した後、p型層15、量子井戸構造14、及びn型層13の一部をエッチングにより除去し、蒸着によりn型層13上に形成される。

透光性電極17は金を含む薄膜であり、p型層15の上に積層される。p電極18も金を含む材料で構成されており、蒸着により透光性電極17の上に形成される。

#### 【0019】

図2に、実施例の発光ダイオード10の量子井戸構造14におけるAlとInの組成分布をチャート化した。図からわかるように、本実施例では井戸層と障壁層においてAlの組成が同じである。井戸層においてはInの組成を大きくして層全体としてのバンドギャップエネルギーを小さくしている。

比較のために、特許文献1に記載の発光ダイオードのAlとInの組成分布を図3に示した。

## 【0020】

上記実施例の発光ダイオードは20mAの順方向電流を印加したときに350nm付近に発光ピークを有し、その発光出力は0.5mWであった。これは図3に示す従来技術における同じ波長帯の発光ピーク有する発光素子の約2倍の発光出力であった。

## 【0021】

## (実施例2)

次のこの発明の第2の実施例の発光ダイオードについて説明をする。この発光ダイオードは図1に示した層構造を有し、各層のスペックは次の通りである。なお、実施例1と同一の要素には同一の符号を付してその説明を省略する。

層	組成
p型層15	p-GaN: Mg
量子井戸構造24(3ペア)	A <sub>1</sub> <sub>0.15</sub> G <sub>a</sub> <sub>0.79</sub> I <sub>n</sub> <sub>0.06</sub> N(井戸層) A <sub>1</sub> <sub>0.14</sub> G <sub>a</sub> <sub>0.80</sub> I <sub>n</sub> <sub>0.06</sub> N(障壁層)
n型層13	n-GaN: Si
バッファ層12	A <sub>1</sub> N
基板11	サファイア

## 【0022】

図4にこの実施例の発光ダイオードの量子井戸構造24におけるA<sub>1</sub>とI<sub>n</sub>の組成分布をチャート化した。図からわかるように、この実施例では、井戸層のA<sub>1</sub>組成より障壁層のA<sub>1</sub>組成の方が小さくなっている。

上記実施例の発光ダイオードは20mAの順方向電流を印加したときに350nm付近に発光ピークを有し、その発光出力は0.5mWであった。これは図3に示す従来技術における同じ波長帯の発光ピーク有する発光素子の約2倍の発光出力であった。

## 【0023】

この発明は、上記発明の実施の形態及び実施例の説明に何ら限定されるものではない。特許請求の範囲の記載を逸脱せず、当業者が容易に想到できる範囲で種々の変形態様もこの発明に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1はこの発明の実施例の発光素子の層構成を模式的に示した断面図である。

【図2】

図2は実施例の発光素子の量子井戸構造におけるA1とInの組成を示すチャートである。

【図3】

図3は従来例の発光素子の量子井戸構造におけるA1とInの組成を示すチャートである。

【図4】

図4は他の実施例の発光素子の量子井戸構造におけるA1とInの組成を示すチャートである。

【符号の説明】

1 0 発光ダイオード

1 1 基板

1 2 バッファ層

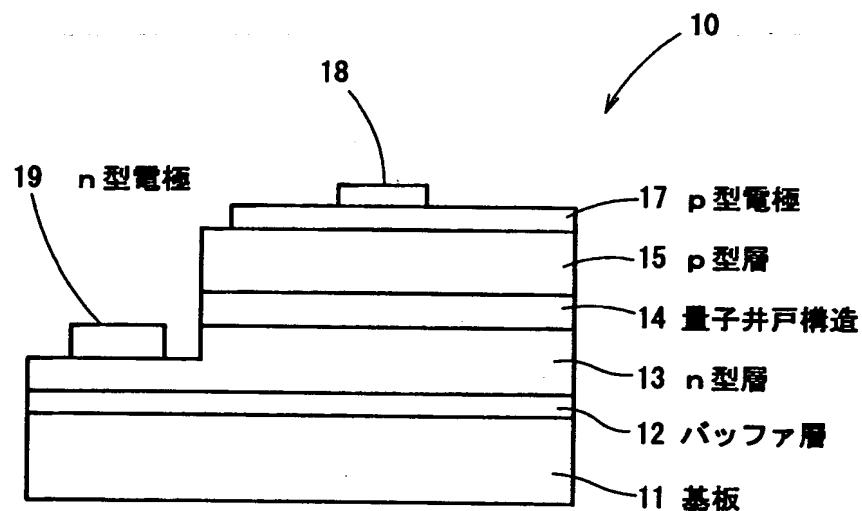
1 3 n型層

1 4 量子井戸構造

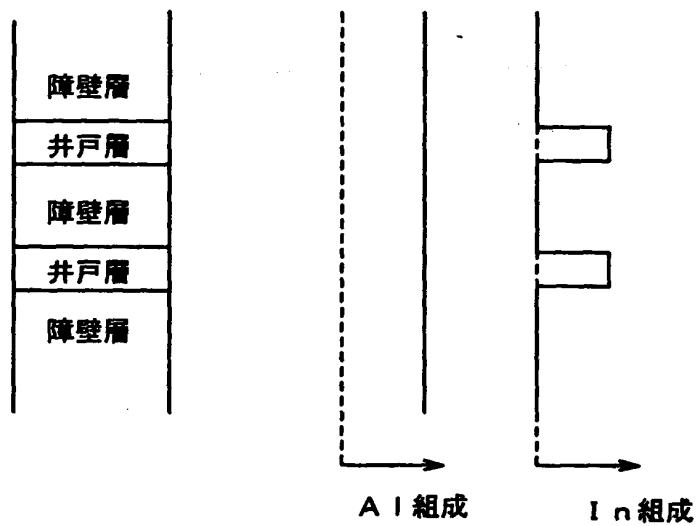
1 5 p型層

【書類名】 図面

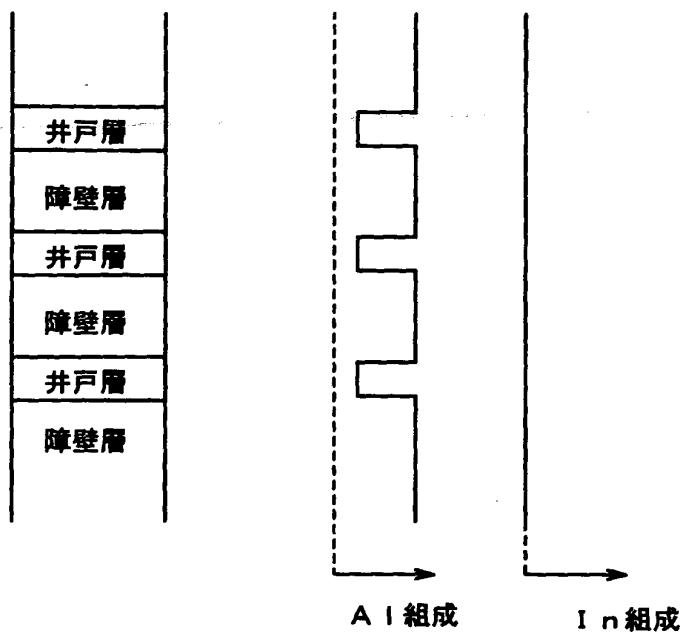
【図1】



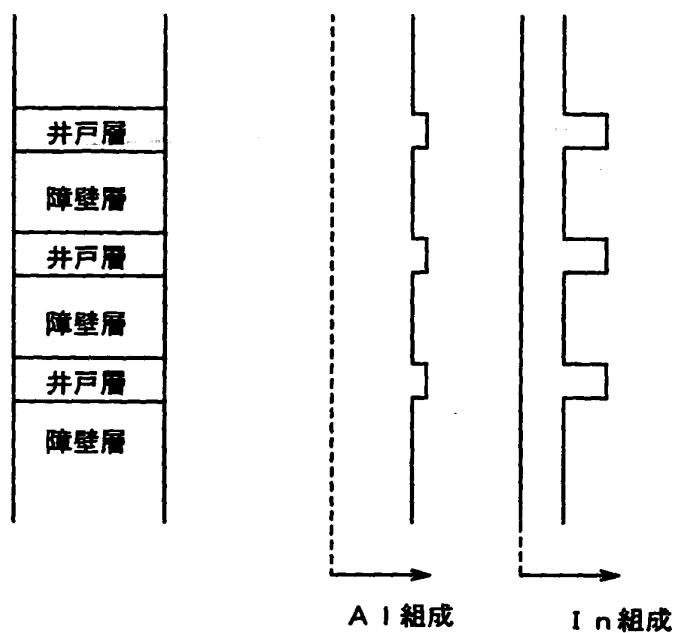
【図2】



【図3】



【図4】



【書類名】 要約書

【要約】

【目的】 短波長の光を高い出力で発光できるIII族窒化物系化合物半導体発光素子を提供する。

【構成】  $A_1$  と  $I_n$  を必須構成元素とした  $A_1GaInN$  からなる井戸層と、 $A_1$  を必須構成元素とした  $A_1GaInN$  からなる障壁層とを有する量子井戸構造を備えるIII族窒化物系化合物半導体発光素子において、井戸層の  $A_1$  組成に比べて障壁層の  $A_1$  組成を同じか若しくは小さくする。

【選択図】 図2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-271630
受付番号	50201396002
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成14年 9月19日

＜認定情報・付加情報＞

【提出日】 平成14年 9月18日

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000241463]

1. 変更年月日 1990年 8月 9日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畠 1 番地  
氏 名 豊田合成株式会社

出願人履歴情報

識別番号 [000003609]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1  
氏 名 株式会社豊田中央研究所